



Attorney's Docket No.: 16283-002001 / P1P2002382US

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Kazuo Tanaka et al. Art Unit : Unknown
Serial No. : 10/627,944 Examiner : Unknown
Filed : July 25, 2003
Title : OPTICAL WAVEGUIDE DEVICE

Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

TRANSMITTAL OF PRIORITY DOCUMENTS UNDER 35 USC § 119

Applicants hereby confirm their claim of priority under 35 USC § 119 from Japan
Application No. 2002-217084 filed July 25, 2002 and Japan Application No. 2003-018997 filed
January 28, 2003. Certified copies of each application from which priority is claimed is
submitted herewith.

Please apply any charges or credits to Deposit Account No. 06-1050.

Respectfully submitted,

Date: _____

8-12-03

Y. Rocky Tsao

Y. Rocky Tsao
Reg. No. 34,053

Fish & Richardson P.C.
225 Franklin Street
Boston, MA 02110-2804
Telephone: (617) 542-5070
Facsimile: (617) 542-8906

20707629.doc

CERTIFICATE OF MAILING BY FIRST CLASS MAIL

I hereby certify under 37 CFR §1.8(a) that this correspondence is being
deposited with the United States Postal Service as first class mail with
sufficient postage on the date indicated below and is addressed to the
Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

August 12, 2003
Date of Deposit

Diane M. Saturno
Signature

Diane M. Saturno
Typed or Printed Name of Person Signing Certificate

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-217084

[ST.10/C]:

[JP 2002-217084]

出 願 人

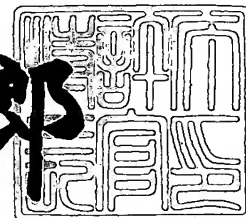
Applicant(s):

岐阜大学長

2003年 6月23日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3049186

【書類名】 特許願

【整理番号】 PY20021139

【提出日】 平成14年 7月25日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/10

【発明者】

 【住所又は居所】 岐阜県岐阜市石原 8 8 0 番地 6 8

 【氏名】 田中 嘉津夫

【発明者】

 【住所又は居所】 岐阜県岐阜市則武中 1 丁目 1 0 番 1 1 号

 【氏名】 田中 雅宏

【特許出願人】

 【識別番号】 391012257

 【氏名又は名称】 岐阜大学長

【代理人】

 【識別番号】 100068755

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 恩田 博宣

【選任した代理人】

 【識別番号】 100105957

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 恩田 誠

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光導波装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の光を伝搬可能な光導波路を有する光導波装置において、前記光導波路は、その光伝搬方向に沿う少なくとも一部での前記光伝搬方向に交差する断面の形状が、当該光導波路を介して伝搬される光の偏光方向を幅方向とした場合に、当該幅方向における内面幅寸法が前記伝搬される光の波長の $1/2$ よりも小さな値の幅狭部を有する形状とされ、且つ、その内面全体のうち少なくとも前記幅狭部の幅方向で対向する内面部分がプラズモン活性媒質により構成されたことを特徴とする光導波装置。

【請求項 2】 所定の光を伝搬可能な光導波路を有する光導波装置において、前記光導波路は、その光伝搬方向に沿う少なくとも一部での前記光伝搬方向に交差する断面の形状が、当該光導波路を介して伝搬される光の偏光方向を幅方向とした場合に、当該幅方向における内面幅寸法が前記伝搬される光の波長の $1/2$ よりも小さな値の幅狭部と当該幅狭部よりも前記内面幅寸法が大きな値の幅広部とが前記幅方向と交差する方向に連続して繋がった形状とされ、且つ、その内面全体のうち少なくとも前記幅狭部の幅方向で対向する内面部分がプラズモン活性媒質により構成されたことを特徴とする光導波装置。

【請求項 3】 前記光導波路は、前記幅狭部を有する部分での前記断面の形状において、前記幅方向と直交する方向での当該光導波路の形状寸法が、前記幅狭部で発生する表面プラズモンの位相速度を前記伝搬される光の真空中の速度で除した値に、当該伝搬される光の波長の $1/2$ を乗じて得られる値よりも大きな値に設定されている請求項 1 又は請求項 2 に記載の光導波装置。

【請求項 4】 前記プラズモン活性媒質は、比誘電率の実数部が負の値の誘電体媒質である請求項 1 ～ 3 のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【請求項 5】 前記光導波路は、前記幅狭部を複数有しており、当該幅狭部を有する部分での前記断面の形状は、各幅狭部と幅広部が前記幅方向と交差する方向へ交互に連続して繋がった形状とされている請求項 2 ～ 請求項 4 のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【請求項 6】 前記光導波路は、前記伝搬される光を導出可能に形成された端部開口の開口形状が前記幅狭部を有する形状とされている請求項 1 ～請求項 5 のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【請求項 7】 前記光導波路は、当該光導波路の全体に亘り、光伝搬方向に交差する断面の形状が、前記端部開口の開口形状と同一となるように形成されている請求項 6 に記載の光導波装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えば走査近接場光学顕微鏡や光情報記録装置等において使用された場合に好適な光導波装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、光の波長（可視光：0.4～0.8ミクロン）よりも微小な領域における光学的処理を可能にする技術として、近接場光（光の波長よりも短い距離の領域にのみ届く光）を利用した技術が注目を浴びている。例えば、走査近接場光学顕微鏡の分野では、先端に光の波長よりも小さな微小開口が形成された光ファイバ等からなる光プローブが光導波装置として用いられている。そして、試料表面の微小な領域を観察する際には、前記光プローブの微小開口が観察対象たる前記微小な領域に近接配置され、微小開口の表面近傍に滲み出す光の場（近接場）を試料表面に接触させるようにしている。そして、この近接場と結合した試料表面の前記微小な領域のみが前記近接場光にて照射されるようにし、その照射による試料からの反射光、散乱光、又は透過光を検出して前記微小な領域を局所的に観察評価するようにしている。従って、このような光導波装置の一種である光プローブに関しては、例えば CD 等の光記録媒体における記録ビットの微小化要請や、サブミクロンの微細加工を行う半導体製造プロセスの評価などに寄与するため、従来から、種々の光プローブが光導波装置として提案されている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、近接場光の光強度は、光プローブにおける先端開口の大きさが光の波長よりも小さな微小開口であるため、例えばイルミネーションモードの場合には、その微小開口から滲み出す近接場光の光強度は、光プローブに導入された光強度の約 $1/1000$ 程度という非常に微弱なものになってしまう。従って、例えば光情報記録装置等における高速書き込みや読み出しには、光量不足となって支障を来すことになるため、実用面では前記微小開口から滲み出す近接場光の光強度を増強させる必要がある。しかし、近接場光の光強度を増強するために、光源を強くした場合にはコストの増大につながる一方、先端開口を大きくした場合には光の広がりが増大して解像度を低下させることになってしまうため、いずれの場合も実用面での支障を良好に回避できるものではなかった。

【 0 0 0 4 】

本発明は、このような事情に鑑みなされたものであり、その目的は、光導波路を介して伝搬される光の光強度を、その光の広がりが増大を招くことなく、低コストで増強することができる光導波装置を提供することにある。

【 0 0 0 5 】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するために、本願請求項 1 に記載の発明は、所定の光を伝搬可能な光導波路を有する光導波装置において、前記光導波路は、その光伝搬方向に沿う少なくとも一部での前記光伝搬方向に交差する断面の形状が、当該光導波路を介して伝搬される光の偏光方向を幅方向とした場合に、当該幅方向における内面幅寸法が前記伝搬される光の波長の $1/2$ よりも小さな値の幅狭部を有する形状とされ、且つ、その内面全体のうち少なくとも前記幅狭部の幅方向で対向する内面部分がプラズモン活性媒質により構成されたことを要旨とした。

【 0 0 0 6 】

また、本願請求項 2 に記載の発明は、所定の光を伝搬可能な光導波路を有する光導波装置において、前記光導波路は、その光伝搬方向に沿う少なくとも一部での前記光伝搬方向に交差する断面の形状が、当該光導波路を介して伝搬される光の偏光方向を幅方向とした場合に、当該幅方向における内面幅寸法が前記伝搬される光の波長の $1/2$ よりも小さな値の幅狭部と当該幅狭部よりも前記内面幅寸

法が大きな値の幅広部とが前記幅方向と交差する方向に連続して繋がった形状とされ、且つ、その内面全体のうち少なくとも前記幅狭部の幅方向で対向する内面部分がプラズモン活性媒質により構成されたことを要旨とした。

【 0 0 0 7 】

また、本願請求項 3 に記載の発明は、前記請求項 1 又は請求項 2 に記載の発明において、前記光導波路は、前記幅狭部を有する部分での前記断面の形状において、前記幅方向と直交する方向での当該光導波路の形状寸法が、前記幅狭部で発生する表面プラズモンの位相速度を前記伝搬される光の真空中の速度で除した値に、当該伝搬される光の波長の $1/2$ を乗じて得られる値よりも大きな値に設定されていることを要旨とした。

【 0 0 0 8 】

また、本願請求項 4 に記載の発明は、前記請求項 1 ～請求項 3 のうち何れか一項に記載の発明において、前記プラズモン活性媒質は、比誘電率の実数部が負の値の誘電体媒質であることを要旨とした。

【 0 0 0 9 】

また、本願請求項 5 に記載の発明は、前記請求項 2 ～請求項 4 のうち何れか一項に記載の発明において、前記光導波路は、前記幅狭部を複数有しており、当該幅狭部を有する部分での前記断面形状は、各幅狭部と幅広部が前記幅方向と交差する方向へ交互に連続して繋がった形状とされていることを要旨とした。

【 0 0 1 0 】

また、本願請求項 6 に記載の発明は、前記請求項 1 ～請求項 5 のうち何れか一項に記載の発明において、前記光導波路は、前記伝搬される光を導出可能に形成された端部開口の開口形状が前記幅狭部を有する形状とされていることを要旨とした。

【 0 0 1 1 】

また、本願請求項 7 に記載の発明は、前記請求項 6 に記載の発明において、前記光導波路は、当該光導波路の全体に亘り光伝搬方向に交差する断面の形状が、前記端部開口の開口形状と同一となるように形成されていることを要旨とした。

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を具体化した一実施形態を図 1 ～図 8 に従って説明する。

図 1 に示すように、本実施形態に係る光導波装置 1 1 は、矩形板状をなす金属製板体 1 2 を装置本体として備えている。この金属製板体 1 2 は比誘電率の実数部が負の値となる誘電体媒質、即ち、負誘電体媒質（プラズモン活性媒質）により構成されている。なお、本実施形態では、伝搬される光の波長が 4 8 8 n m である場合を例示するものとし（以下において同じ）、その一例として、かかる場合に前記実数部の値がマイナス 7 . 3 8 になる銀（A g）にて前記金属製板体 1 2 を構成している。ちなみに、誘電体媒質における比誘電率とは、真空中の誘電率に対する当該誘電体媒質の誘電率の比として表される。

【0 0 1 3】

また、図 1 及び図 3（a）（b）に示すように、前記金属製板体 1 2 には、その厚さ方向へ、光を伝搬するための光導波路 1 3 が貫通形成されており、その基端側開口となる裏面側開口 1 4 には、図示しない光源に接続された光ファイバ F が光源からの光を光導波路 1 3 内へ入射可能に接続されている。なお、この光ファイバ F は、高屈折率媒質をコアとし、低屈折率媒質をクラッドとする光閉じ込め型の導波路構造を有する公知のものであり、そのコア先端が前記光導波路 1 3 の裏面側開口 1 4 に光伝搬可能に接続されたものである。また、前記金属製板体 1 2 の厚さに関しては、少なくとも光導波路 1 3 内を伝搬される光の波長の 1 / 4 程度以上あることが当該光導波路 1 3 の内表面に表面プラズモンを発生させる上では好ましい。

【0 0 1 4】

一方、前記金属製板体 1 2 の表面部 1 2 a には、その大きさが光の波長よりも小さな微小開口 1 5 が前記光導波路 1 3 の先端側開口（端部開口）として形成されている。そして、この微小開口 1 5 は、光導波路 1 3 を介して伝搬される光の伝搬方向（図 1 及び図 2 において Z 方向）に直交する断面の形状（微小開口 1 5 では、その開口形状）が以下に説明するような特徴的な形状とされている。

【0 0 1 5】

即ち、この微小開口 1 5 は、図 1 及び図 2 に示すように、前記表面部 1 2 a の

ほぼ中央に位置する幅狭部 1 6 と当該幅狭部 1 6 よりも内面幅寸法の大きい 2 つの幅広部 1 7 とが交互に連続した開口形状に形成されている。そして、当該微小開口 1 5 において、前記幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 は、前記光導波路 1 3 を介して伝搬される光の偏光方向（図 1 及び図 2 において X 方向）を幅方向とした場合、その幅方向と直交する方向（図 1 及び図 2 において Y 方向）へ、交互に連続して繋がった形状となるように構成されている。なお、前記微小開口 1 5 の大きさは金属製板体 1 2（及びその表面部 1 2 a）の大きさとの対比において実際には極小さなものであるが、図 1 等においては微小開口 1 5 の特徴的な開口形状を容易に理解ならしめるため、その大きさが実際よりは誇張して図示されている。

【0016】

また、前記微小開口 1 5 は、前記幅狭部 1 6 の内面幅寸法 $a \times$ （図 2 参照）が伝搬される光の波長（本実施形態では、 488 nm ）よりも小さな値に設定されるものであり、本実施形態では、当該光の波長の $1/2$ よりも小さな値（一例として、 31 nm ）に、前記内面幅寸法 $a \times$ を設定している。前記内面幅寸法 $a \times$ に関して、このような条件を設定する理由は、光導波路 1 3 の内表面（特に、幅狭部 1 6 において幅方向で対向する内面部分 1 8）に表面プラズモンという光波（電磁波）が発生したときに、その電界を強くすると共に、その位相速度を遅くさせて幅狭部 1 6 に光が集束するようにするためである。なお、表面プラズモンに関しては、一般に、表面プラズモンポラリトンとも呼ばれるが、本明細書中では、表面プラズモンと記載することにする。

【0017】

また、前記微小開口 1 5 は、前記幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が連続する方向（図 1，図 2 の Y 方向）における当該微小開口 1 5 の形状寸法 L （図 2 参照）が一例として 217 nm に設定されている。なお、この形状寸法 L に関しては、前記幅狭部 1 6 で発生する表面プラズモンの位相速度を前記伝搬光の真空中の速度で除した値に前記伝搬光の波長の $1/2$ を乗じて得られる値（以下、「形状寸法計算値」という。）よりも大きな値に設定されるものである。前記形状寸法 L に関して、このような条件を設定する理由は、前記幅狭部 1 6 の内面幅寸法 $a \times$ を伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな値に設定した場合において前記形状寸法 L が前記

形状寸法計算値よりも小さいと、当該伝搬光が前記微小開口 1 5 を通過できなくなる可能性があるからである。なお、前記微小開口 1 5 におけるその他の内表面部位の各寸法（図 2 参照）に関しては、伝搬光の波長との関係において、特段の条件は設定されていない。ちなみに、本実施形態では、一例として、幅狭部 1 6 の内面長さ寸法 a_y を前記内面幅寸法 a_x と同寸法の 31 nm に、各幅広部 1 7 の内面幅寸法 b_x を 78 nm に、各幅広部 1 7 の内面長さ寸法 b_y を 93 nm に設定している。

【 0 0 1 8 】

また、本実施形態において、前記光導波路 1 3 は、図 3 (a) (b) からも理解されるように、当該光導波路 1 3 の全体に亘り光伝搬方向に直交する断面の形状が前記微小開口 1 5 の開口形状と同一となるように形成されている。従って、前記光導波路 1 3 は、幅狭部 1 6 における前記内面部分 1 8 を含む光導波路 1 3 の内面全体が銀 (Ag) にて構成されると共に、その内面全体に亘り前記幅狭部 1 6 が前記微小開口 1 5 から裏面側開口 1 4 まで連続形成されていることになる。

【 0 0 1 9 】

次に、本実施形態に係る光導波装置 1 1 の作用について説明する。なお、以下の説明では、光導波装置 1 1 の光導波路 1 3 内に裏面側開口 1 4 から所定の光を入射して、先端側開口である微小開口 1 5 からスポット光を滲み出させる場合、即ち、イルミネーションモードの場合を例にして説明するものとする。また、光導波路 1 3 内に入射される所定の光については、前述したように波長が 488 nm で、偏光方向が図 1 及び図 2 で X 方向となる直線偏光の平面波とした場合を例にして説明するものとする。

【 0 0 2 0 】

さて、光ファイバ F を介して前記所定の光が金属製板体 1 2 の光導波路 1 3 内に入射されると、当該光導波路 1 3 内では次のような現象が発生する。即ち、光導波路 1 3 が貫通形成された金属製板体 1 2 は、光の波長が 488 nm の場合に比誘電率の実数部の値がマイナス 7.38 の銀 (Ag) により構成されていた。つまり、負誘電体媒質により構成されていた。そのため、この金属製板体 1 2 は

、光波領域において、導体というよりはプラズモン活性媒質として振る舞うことになる。従って、光導波路 13 の内表面では、表面電荷の誘起に伴い電荷の振動が起き、伝搬方向が当該内表面に沿う方向（図 2 の Z 方向）の表面プラズモンという光波（電磁波）が発生する。

【0021】

この表面プラズモンは、前記光導波路 13 の内表面と当該光導波路 13 内に満ちている空気（誘電体）との界面 S（図 4 参照）に垂直な方向には伝搬しない表面波である。そのため、この表面プラズモンが発生すると、光導波路 13 内では、主に前記界面 S に平行な（即ち、幅狭部 16 では図 1 及び図 2 で主に Y 方向成分をもつ）磁界が発生する一方、この磁界と直交するように、主に前記界面 S に垂直な（即ち、幅狭部 16 では図 1 及び図 2 で主に X 方向成分をもつ）電界が発生する。

【0022】

ここで、一般に、負誘電体媒質における表面プラズモンの電界強度は、その表面（即ち、界面 S）から離れるにつれて指数関数的に減衰するということが知られている。しかし、本実施形態の場合は、光導波路 13 の内表面のうち、幅狭部 16 では、幅方向で対向する内面部分 18 の内面幅寸法 a_x が 31 nm という微小な間隔に設定されている。そのため、図 4 に示すように、幅狭部 16 では互いに対向する両界面 S において各々発生した表面プラズモンの電界同士が結合することになる。従って、光導波路 13 内において表面プラズモンの電界強度は幅狭部 16 の部分で非常に強くなる。なお、図 4 において符号 e は電界の強度分布を示すものである。

【0023】

また、例えば走査近接場光学顕微鏡における解像力を高めるため、あるいは、光情報記録装置において記録密度を上げるためには、光導波路 13 の先端側開口である微小開口 15 から出る光の広がり分布の大きさを小さくすることが必要である。そこで、前記表面プラズモンの図 1 及び図 2 における Z 方向への位相速度の大きさを光導波路 13 における前記幅狭部 16 の内面幅寸法 a_x の大きさとの関係において検討してみると、図 5 に示すような結果が得られた。

【 0 0 2 4 】

即ち、図 5 において、横軸は、光導波路 1 3（及び微小開口 1 5）における幅狭部 1 6 の内面幅寸法 a_x の大きさを表しており、その目盛り数値はナノメータ（nm）単位である。また、縦軸は、前記幅狭部 1 6 を通過する表面プラズモンの位相速度 v_z の光速 C に対する速度比率（ v_z / C ）を表しており、その目盛り数値は、伝搬光の真空中の速度（光速 C ）を「1」とした場合における速度比率（ v_z / C ）の値を示している。従って、縦軸における速度比率（ v_z / C ）の目盛り数値が小さくなればなるほど、表面プラズモンの位相速度 v_z が遅くなることを意味する。

【 0 0 2 5 】

なお、図 5 において、各黒丸印は、伝搬光の波長が 4 8 8 nm の場合に比誘電率の実数部の値がマイナス 7. 3 8 の銀（Ag）により光導波路 1 3 の内面全体を構成した場合（本実施形態の場合）における前記幅狭部 1 6 の内面幅寸法 a_x と表面プラズモンの位相速度 v_z との関係を示したものである。また、縦軸における一番上の目盛り数値「1」のやや下から水平方向（横軸方向）に延びた一点鎖線は、前記内面幅寸法 a_x の数値が無限大（ ∞ ）であるとした場合における前記速度比率（ v_z / C ）の大きさを示したものである。

【 0 0 2 6 】

さて、この図 5 から理解されるように、前記速度比率（ v_z / C ）は、幅狭部 1 6 の内面幅寸法 a_x が小さくなるに従い、次第にその数値が低下する傾向を示している。また、その速度比率（ v_z / C ）の低下度合いは、内面幅寸法 $a_x < \lambda / 2$ （即ち、 $a_x < 244 \text{ nm}$ ）の場合において、 $a_x \geq 2\lambda / 5$ （即ち、 $a_x \geq 195.2 \text{ nm}$ ）よりも $a_x < 2\lambda / 5$ （即ち、 $a_x < 195.2 \text{ nm}$ ）の方が、大きくなっている。同様に、 $a_x \geq 3\lambda / 10$ （即ち、 $a_x \geq 146.4 \text{ nm}$ ）よりも $a_x < 3\lambda / 10$ （即ち、 $a_x < 146.4 \text{ nm}$ ）の方が、前記速度比率（ v_z / C ）の低下度合いは大きくなっている。

【 0 0 2 7 】

そして特に、内面幅寸法 $a_x < \lambda / 5$ （即ち、 $a_x < 97.6 \text{ nm}$ ）になると、前記速度比率（ v_z / C ）は、一層、加速度的に低下し始める。そして、内面

幅寸法 $a_x < \lambda / 10$ (即ち、 $a_x < 48.8 \text{ nm}$) になると、更に一層、前記速度比率 (v_z / c) は急激に大きく低下している。なお、前記内面幅寸法 a_x が伝搬光の波長 (488 nm) の $1/2$ よりも大きくされた場合は、図 5 に一点鎖線で示す内面幅寸法 $a_x = \infty$ の場合の速度比率 (v_z / C) に近付いていくことになる。

【0028】

従って、このことから、光導波路 13 の内表面に発生した表面プラズモンは、本実施形態における幅狭部 16 のように、光導波路 13 内において、伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな内面幅寸法 a_x ($< 244 \text{ nm}$) にした部分では、その位相速度 v_z が大幅に遅くなることが理解される。そして、表面プラズモンのような光波は、その伝搬において位相速度 v_z が遅い (小さい) 空間に集まる性質がある。そのため、光導波路 13 の幅狭部 16 及び幅広部 17 を含む内表面全域において発生した表面プラズモンは、その位相速度 v_z が遅く (小さく) なるように伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな内面幅寸法 a_x ($< 244 \text{ nm}$) に設定された幅狭部 16 に集まることになる。

【0029】

従って、光源を強くしたりする方法によらずとも、本実施形態の光導波装置 11 では、前記幅狭部 16 の部分において、表面プラズモンの電界強度が強くなると共に、その位相速度 v_z が遅くなって光導波路 13 内で発生した表面プラズモンが集まるため、光導波路 13 を介して伝搬される光の強度が強くなる。そして、このように光強度が増大された伝搬光が、前記微小開口 15 の幅狭部 16 の部分からスポット光 (近接場光) として滲み出し、当該スポット光が試料表面で散乱され、その散乱光が図示しない外部レンズ等を有する光検出装置に検出される。

【0030】

なお、参考までに、金属製板体 12 の表面部 12a に形成される微小開口 15 の開口形状に関して、本実施形態の微小開口 15 とは異なる開口形状をした比較例 (比較例 1 と比較例 2) を示して、各々の微小開口を通過する光の強度を対比してみた。図 6 において、(a) は本実施形態における微小開口 15 を、(b)

は比較例 1（本発明の別の実施形態でもある）の微小開口 2 5 を、（c）は比較例 2 の微小開口 3 5 を、それぞれ正面から見たものである。同図からも理解されるように、比較例 1 の微小開口 2 5 は、短手方向の内面幅寸法と長手方向の形状寸法が本実施形態の微小開口 1 5 における幅狭部 1 6 の内面幅寸法 $a \times$ 及び形状寸法 L とそれぞれ同寸法の縦長形状をしている。また、比較例 2 の微小開口 3 5 は、正形状をなしており、その一辺の長さが本実施形態の微小開口 1 5 における幅広部 1 7 の内面幅寸法 $b \times$ よりも大きいものである。

【 0 0 3 1 】

そこで、これら各微小開口 1 5，2 5，3 5 を同一条件のもと光が通過したとした場合において、各微小開口 1 5，2 5，3 5 の中心 O を通る仮想平面上での光の強度を調べてみた。図 7 は、各微小開口 2 5，1 5，3 5 の中心 O を横方向（図 6 では X 方向）に通る仮想平面上での光の強度分布を示したものであり、図 8 は、各微小開口 2 5，1 5，3 5 の中心 O を縦方向（図 6 では Y 方向）に通る仮想平面上での光の強度分布を示したものである。なお、図 7，図 8 において、曲線 a は本実施形態の微小開口 1 5 を通過した光の強度分布曲線を、曲線 b は比較例 1 の微小開口 2 5 を通過した光の強度分布曲線を、曲線 c は比較例 2 の微小開口 3 5 を通過した光の強度分布曲線を、それぞれ示している。

【 0 0 3 2 】

さて、図 7 及び図 8 を見てみると、本実施形態における微小開口 1 5 の場合には、その各分布曲線 a から明らかなように、当該微小開口 1 5 の中心 O の近傍で非常に高い光強度が得られている。これは、前述したように、幅狭部 1 6 において対向する両界面 S での表面プラズモン同士が互いに結合して電界強度を上げていることが、その要因の 1 つとしてあげられる。そして、要因の二つとしては、前記幅狭部 1 6 では表面プラズモンの位相速度が遅く（小さく）されるため、光導波路 1 3 内を伝搬される光が前記幅狭部 1 6 に集中することにあると考えられる。

【 0 0 3 3 】

次に、比較例 1 の微小開口 2 5 の場合について見てみると、当該微小開口 2 5 の場合も、その各分布曲線 b から明らかなように、微小開口 2 5 の中心 O の部分

を最大値とする光強度分布を示している。これは、この比較例 1 の微小開口 2 5 においても、その短手方向において互いに対向する両界面の表面プラズモンの結合効果が発揮されているものと考えられる。なお、分布曲線 a で表された本実施形態における微小開口 1 5 に比較すると、その電界強度の高さは低い、これは開口形状が縦方向に一樣の内面幅寸法とされた長方形形状であり、本実施形態の微小開口 1 5 のような幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が連続して繋がった形状ではないことに起因するものと考えられる。

【 0 0 3 4 】

従って、この比較例 1 の微小開口 2 5 では、本実施形態の微小開口 1 5 に比較して、表面プラズモンの位相速度を遅く（小さく）して伝搬光を集束させるという点では少しばかり劣るものの、両界面で発生した表面プラズモンが結合して電界強度を上げるという点では、共通した効果を示しているといえる。その意味で、この比較例 1 は、本実施形態と技術思想的には共通したものであり、本発明における別の実施形態（別例）と位置付けられるものである。

【 0 0 3 5 】

これに対し、比較例 2 の微小開口 3 5 の場合には、その各分布曲線 c から明らかなように、表面プラズモンが発生する左右両界面の近傍付近でのみ少し程度は光強度が認められるものの、当該微小開口 3 5 の中心 O の部分ではほとんど光強度が認められない。即ち、比較例 2 の微小開口 3 5 の場合には、両界面で発生した表面プラズモンの結合による電界強度向上効果もなく、また、それ故に、表面プラズモンの位相速度を遅く（小さく）して伝搬光を集束させるという効果もなく、これでは実用面での支障となる。

【 0 0 3 6 】

従って、本実施形態の光導波装置 1 1 によれば、次のような効果がある。

（1）本実施形態では、光導波路 1 3 を貫通形成した金属製板体 1 2 がプラズモン活性媒質である銀（A g）により構成されているため、光導波路 1 3 に光が入射されたことに基づき、その光導波路 1 3（微小開口 1 5 を含む）の内表面で表面プラズモンが発生する。また、その光導波路 1 3（微小開口 1 5）は、幅狭部 1 6 の内面幅寸法 $a \times$ が光の波長の $1/2$ よりも小さな 31 nm に設定されて

いるため、その幅狭部 1 6 の対向する両界面 S で発生した表面プラズモンは、互いに電界が結合することで電界強度が非常に強くなる。しかも、その幅狭部 1 6 の部分では表面プラズモンの位相速度が遅くなるため、光導波路 1 3 内の光が当該幅狭部 1 6 に集まることになる。従って、このような幅狭部 1 6 を有したことにより、光導波路 1 3 の先端側開口である微小開口 1 5 から滲み出すスポット光（近接場光）の光強度を、光源を強くせずとも、光の広がりが増大を招くことなく、低コストで増強することができる。

【 0 0 3 7 】

（２）また、本実施形態では、光導波路 1 3 （微小開口 1 5）の幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 とが連続する方向における光導波路 1 3 （微小開口 1 5）の形状寸法 L が所定の形状寸法計算値よりも大きく設定されている。即ち、幅狭部 1 6 で発生する表面プラズモンの位相速度 v_z を伝搬光の真空中の速度である光速 C で除した値に前記伝搬光の波長の $1/2$ を乗じて得られる値（形状寸法計算値）よりも大きな値に設定されている。従って、その光導波路 1 3 内へ光ファイバ F から入射された光を遮断してしまうようなこともなく、確実に先端の微小開口 1 5 から光の強度を増強したスポット光（近接場光など）として導出することができる。

【 0 0 3 8 】

（３）また、本実施形態では、微小開口 1 5 に連なる開口近傍の内面部分のみならず光導波路 1 3 の内面全体がプラズモン活性媒質である銀（A g）により構成されているため、光導波路 1 3 の内表面全域で表面プラズモンを発生させることができる。しかも、幅狭部 1 6 が、先端側の微小開口 1 5 から裏面側開口 1 4 まで連続形成されているため、互いに対向する両界面 S の表面プラズモンが結合することによる電界強度向上効果及び伝搬される光の位相速度を遅くして当該光を幅狭部 1 6 に集中させる効果を、光導波路 1 3 の内面全体に亘り得ることができる。

【 0 0 3 9 】

（４）また、本実施形態では、プラズモン活性媒質として負誘電体媒質である銀（A g）を採用しているので、表面プラズモンを効果的に且つ確実に発生させ

ることができる。また、かかるプラズモン活性媒質（A g 等）からなる装置本体としての金属製板体 1 2 に前記光導波路 1 3 を形成するだけなので、光導波装置 1 1 の製造が容易にできる。

【 0 0 4 0 】

（５）また、本実施形態では、光導波路 1 3 の先端に設けられる微小開口 1 5 が伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな値の内面幅寸法 a_x とされた幅狭部 1 6 を有するものであって、その幅狭部 1 6 に連なる光導波路 1 3 の内面部分をプラズモン活性媒質で構成するだけという簡単なものである。そのため、走査近接場光学顕微鏡や光情報記録装置等という様々な光学的処理装置における光導波装置として好適に使用することができる。

【 0 0 4 1 】

なお、上記実施形態は以下のように変更してもよい。

・ 上記実施形態では、微小開口 1 5 において幅狭部 1 6 が 1 つだけ設けられたものであったが、例えば図 9（a）に示すように、2 つの幅狭部 1 6 と 3 つの幅広部 1 7 を有し、それらの幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が交互に連続する開口形状としてもよい。このようにすれば、光の強度を増強したスポット光（近接場光など）を 2 カ所で形成することができる。要するに、幅狭部 1 6 は微小開口 1 5 において少なくとも一カ所あればよく、幅広部 1 7 と隣り合って連続するものならば二カ所以上あってもよい。

【 0 0 4 2 】

・ 上記実施形態では、微小開口 1 5 の開口形状が幅狭部 1 6 及び幅広部 1 7 を含めて直線により形作る構成となっていたが、例えば図 9（b）に示すように曲線を用いて形作られた開口形状（例えば、同図に示すようなダンベル形状）であってもよい。また、微小開口 1 5 の開口形状は直線と曲線の組み合わせで形成されていてもよい。

【 0 0 4 3 】

・ 上記実施形態では、微小開口 1 5 の開口形状が左右対称な形状になっていたが、幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が交互に連続するものならば、開口形状は任意に変更可能である。例えば、図 9（c）（d）に示すように、幅狭部 1 6 と幅広部

1 7 が伝搬光の偏光方向（各図において幅狭部 1 6 の幅方向）と交差する方向へ連続して繋がった形状となるならば、左右非対称な形状であってもよい。

【 0 0 4 4 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 の全体に亘り光伝搬方向に直交する断面の形状が微小開口 1 5 の開口形状と同一となるように形成されていたが、例えば図 1 0 (a) (b) に示すように、金属製板体 1 2 内で光導波路 1 3 の断面形状が微小開口 1 5 の開口形状よりも大きくなっていてもよい。また、裏面側開口 1 4 から入射される光の偏光方向を同図の Y 方向（縦方向）とする場合には、幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が X 方向（横方向）に連続して繋がるようにすればよい。

【 0 0 4 5 】

・ 上記実施形態では、幅狭部 1 6 が光導波路 1 3 の光伝搬方向に交差する断面の形状中心に位置するように形成されていたが、例えば図 1 1 (a) (b) に示すように、光導波路 1 3 の断面中心から偏心した位置に幅狭部 1 6 が設けられるようにしてもよい。また、光導波路 1 3 は、幅狭部 1 6 の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さく設定されるものならば、同図からも窺えるように、幅狭部 1 6 の内面幅寸法と幅広部 1 7 の内面幅寸法との寸法比が、本実施形態における両者の寸法比に対してはるかに大きなものであってもよい。即ち、幅広部 1 7 の内面幅寸法は幅狭部 1 6 の内面幅寸法よりも大きいという条件を満たすならば無限大の寸法であってもよい。

【 0 0 4 6 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 が装置本体たる金属製板体 1 2 に対してトンネル状に貫通形成されたものであったが、例えば図 1 2 (a) (b) および図 1 3 (a) (b) に示すように、金属製板体 1 2 の表面上から溝状に切欠形成されたものであってもよい。ちなみに、図 1 2 (a) (b) のものは、金属製板体 1 2 の上面から幅狭部 1 6 が切欠形成され、当該幅狭部 1 6 の下方に連続するように幅広部 1 7 が繋がり形成されたものである。また、図 1 3 (a) (b) のものは、金属製板体 1 2 の上面に幅狭部 1 6 が切欠形成されたものであり、原理的には図 6 (b) に示した比較例 1 と同様のものである。従って、本発明でいうところの光導波路の端部開口には、金属製板体 1 2 に貫通形成された光導波路 1

3の端部開口（図1等の微小開口15）である場合と、金属製板体12の一側面に溝状に切欠形成された光導波路13の端部開口（図12、図13の微小開口15）である場合の双方が含まれるものである。

【0047】

・ 上記実施形態では、光導波路13の両端部にそれぞれ開口（裏面側開口14及び微小開口15）を設けたが、光導波路13は、先端側開口の微小開口15が一つだけ設けられた構成でもよい。即ち、例えば図10（a）（b）の光導波装置11において裏面側開口14が閉塞された構成であってもよい。このように構成した場合には、先端の微小開口15から光導波路13内に入射された伝搬光が当該光導波路13内奥の壁面で反射されて定在波を発生させ、再び、先端の微小開口15から導出されることになり、イルミネーションコレクションモードの場合に好適に利用される。

【0048】

・ 上記実施形態では、光導波路13内において表面プラズモンの結合による電界強度向上効果および表面プラズモンの位相速度低下による伝搬光集中効果を発揮し得る幅狭部16（及びその内面部分18）が一直線状に設けられていた。しかし、例えば図10（a）（b）及び図11（b）に一点鎖線で示すように、光導波路13内において、前記幅狭部16（及びその内面部分18）は二股状に分岐した構成であってもよい。なお、その場合、分岐された幅狭部16の先端に対応させて微小開口15と同様の先端側開口を形成してもよい。また、その場合の分岐形態は、二股状のみならず一カ所から三方向へ分岐させてもよいし、複数箇所それぞれ複数方向へ分岐させてもよい。

【0049】

このようにすれば、例えば光集積回路における光導波路13として用いた場合に極めて実用的なものになる。即ち、光集積回路では、ナノメートル単位の極細い光の配線回路を作るため、光導波路を二次元面内で引き回す（曲げたり、分岐したりする）必要がある。そして、そのようにして形成された回路のうち、光導波路を電界と平行な二次元面内で引き回して形成された回路はE面回路と呼ばれ、光導波路を磁界と平行な二次元面内で引き回して形成された回路はH面回路と呼

ばれる。

【0050】

上記した図10(a)(b)において幅狭部16(及びその内面部分18)が分岐した光導波路13は、その電界が主にY方向であり磁界が主にX方向であるところ、X方向の磁界と平行な二次元面内で分岐されているためH面回路を形成していることになる。一方、図11(a)(b)において幅狭部16(及びその内面部分18)が分岐した光導波路13は、その電界が主にX方向であり磁界が主にY方向であるところ、X方向の電界と平行な二次元面内で分岐されているためE面回路を形成していることになる。

【0051】

従って、H面回路を形成する図10(a)(b)の光導波装置11においては、同図におけるY方向で対向する幅狭部16の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな値であれば、幅広部17のY方向における内面幅寸法が例え無限大であっても、分岐された各幅狭部16に沿う極細の光回路を形成できる。また、E面回路を形成する図11(a)(b)の光導波装置11においては、同図におけるX方向で対向する幅狭部16の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな値であれば、幅広部17のX方向における内面幅寸法が例え無限大であっても、分岐された各幅狭部16に沿う極細の光回路を形成できる。

【0052】

また、図12(a)(b)に示す形態のものにあつては、例えば図14～図16に示すような形態に変更してもよい。即ち、図14のものは幅狭部16が一つではなく複数(同図では2つ)形成され、各幅狭部16の下部が一つの幅広部17に連続して繋がるように構成されたものである。また、図15のものは、図14のものにおいて、光導波路13内に外部(空気)とは異なる誘電体媒質(ガラス等)を充填したものである。また、図16のものは光導波路13の断面形状が不規則な曲線で形成されたものであり、その光導波路13内には図14のもののようにガラス等の誘電体媒質が充填されていてもよい。

【0053】

上記実施形態では、プラズモン活性媒質として比誘電率の実数部の値がマ

イナス 7. 3 8 の銀 (A g) を用いたが、実数部の値がマイナスの銀 (A g) であれば他の銀 (A g) を用いてもよい。また、比誘電率の実数部の値がマイナスとなる誘電体媒質であれば、銀 (A g) に限らず金 (A u) や白金及びそれらの合金、又はその他の金属材料や半導体材料を用いてもよい。

【 0 0 5 4 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 を包囲形成する金属製板体 1 2 全体をプラズモン活性媒質 (銀 A g) により構成していたが、少なくとも光導波路 1 3 内の幅狭部 1 6 において幅方向で対向する内面部分 1 8 がプラズモン活性媒質 (銀 A g) により構成されていればよい。また、先端側開口の微小開口 1 5 から裏面側開口 1 4 に至るまでの光導波路 1 3 の内面全体に亘り形成された幅狭部 1 6 の幅方向で互いに対向する両内面部位のみがプラズモン活性媒質 (銀 A g) により構成されていてもよい。また、前記プラズモン活性媒質 (銀 A g 等) は、前記幅狭部 1 6 の内面部分 1 8 等を含む光導波路 1 3 の内表面に対して蒸着などで付設されるものであってもよい。

【 0 0 5 5 】

・ 上記実施形態では、微小開口 1 5 における幅狭部 1 6 の内面幅寸法 a x が 3 1 n m に設定されていたが、伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな寸法に設定されるものならば、上記実施形態の 3 1 n m に限定されるものではない。また、微小開口 1 5 における幅方向 (X 方向) と交差する方向 (Y 方向) の形状寸法 L は 2 1 7 n m に限定されるものではなく、前記形状寸法計算値よりも大きな値に設定されるならば、前記形状寸法 L は伝搬光の波長の $1/2$ より大きくてもよい。

【 0 0 5 6 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 の光伝搬方向と直交する断面形状が微小開口 1 5 と同一形状で裏面側開口 1 4 まで連続する構成であったが、例えば裏面側開口 1 4 側から先端の微小開口 1 5 に向かうほど次第に断面形状が小さくなる先細テーパ状にするなど、光導波路 1 3 の全体形状は適宜に変更可能である。

【 0 0 5 7 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 内において当該光導波路 1 3 の内表面と界面 S を形成する媒質が空気であったが、例えば図 1 4 のものにおいて示唆した

ようにガラスなどの他の誘電体媒質を光導波路 1 3 内に充填したものであってもよい。

【 0 0 5 8 】

・ 上記実施形態では、光導波路 1 3 の内面全体に亘り幅狭部 1 6 が形成されていたが、光導波路 1 3 の先端側開口である微小開口 1 5 においてのみ幅狭部 1 6 が形成された構成であってもよい。また、光導波路 1 3 の光伝搬方向における中途に断面形状が前記微小開口 1 5 と同様の幅狭部 1 6 と幅広部 1 7 が連続して繋がった形状をなす部分を設け、先端側開口及び裏面側（基端側）開口は、それぞれ伝搬光の波長よりも大きな開口となるようにしてもよい。

【 0 0 5 9 】

次に、前記実施形態から把握される技術的思想について以下追記する。

（イ）前記光導波路は、その幅狭部の内面幅寸法が伝搬光の波長の $2/5$ よりも小さな値に設定されている請求項 1 ～請求項 7 のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【 0 0 6 0 】

（ロ）前記光導波路は、その幅狭部の内面幅寸法が伝搬光の波長の $3/10$ よりも小さな値に設定されている請求項 1 ～請求項 7 及び上記技術的思想（イ）のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【 0 0 6 1 】

（ハ）前記光導波路は、その幅狭部の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/5$ よりも小さな値に設定されている請求項 1 ～請求項 7 及び上記技術的思想（イ）（ロ）のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【 0 0 6 2 】

（ニ）前記光導波路は、その幅狭部の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/10$ よりも小さな値に設定されている請求項 1 ～請求項 7 及び上記技術的思想（イ）～（ハ）のうち何れか一項に記載の光導波装置。

【 0 0 6 3 】

【発明の効果】

以上、詳述したように、本発明によれば、光導波路を介して伝搬される光の光

強度を、その光の広がりが増大を招くことなく、低コストで増強することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本実施形態の光導波装置に光ファイバを接続した状態の斜視図。

【図 2】 同じく、光導波装置の正面図。

【図 3】 (a) は図 2 の A - A 線断面図、(b) は図 2 の B - B 線断面図

。

【図 4】 図 2 の C - C 線断面図。

【図 5】 幅狭部の幅寸法と表面プラズモンの位相速度との対応関係図。

【図 6】 (a) は本実施形態の正面図、(b) は比較例 1 の正面図、(c) は比較例 2 の正面図。

【図 7】 図 6 (a) ~ (c) の各微小開口を通過した光の X 軸方向仮想平面上での光強度分布図。

【図 8】 図 6 (a) ~ (c) の各微小開口を通過した光の Y 軸方向仮想平面上での光強度分布図。

【図 9】 (a) ~ (d) は、微小開口の開口形状が異なる各別例の正面図。

【図 10】 本発明の別の実施形態を示すもので、(a) は正面図、(b) は同図 (a) の A - A 線断面図。

【図 11】 本発明の別の実施形態を示すもので、(a) は正面図、(b) は同図 (a) の A - A 線断面図。

【図 12】 本発明の別の実施形態を示すもので、(a) は正面図、(b) はその平面図。

【図 13】 本発明の別の実施形態を示すもので、(a) は正面図、(b) はその平面図。

【図 14】 光導波路の光伝搬方向に交差する断面形状が異なる別例の断面図

。

【図 15】 光導波路の光伝搬方向に交差する断面形状が異なる別例の断面図

。

【図 16】 光導波路の光伝搬方向に交差する断面形状が異なる別例の断面図

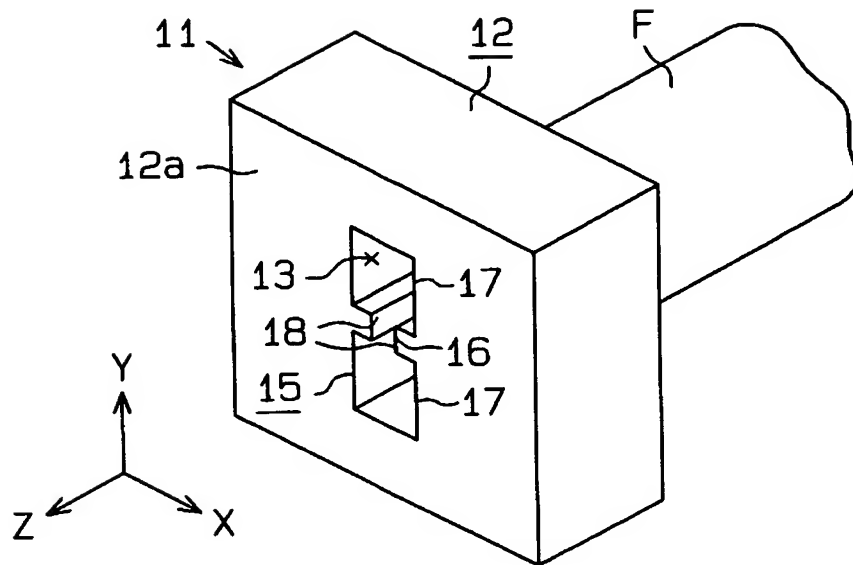
。

【符号の説明】

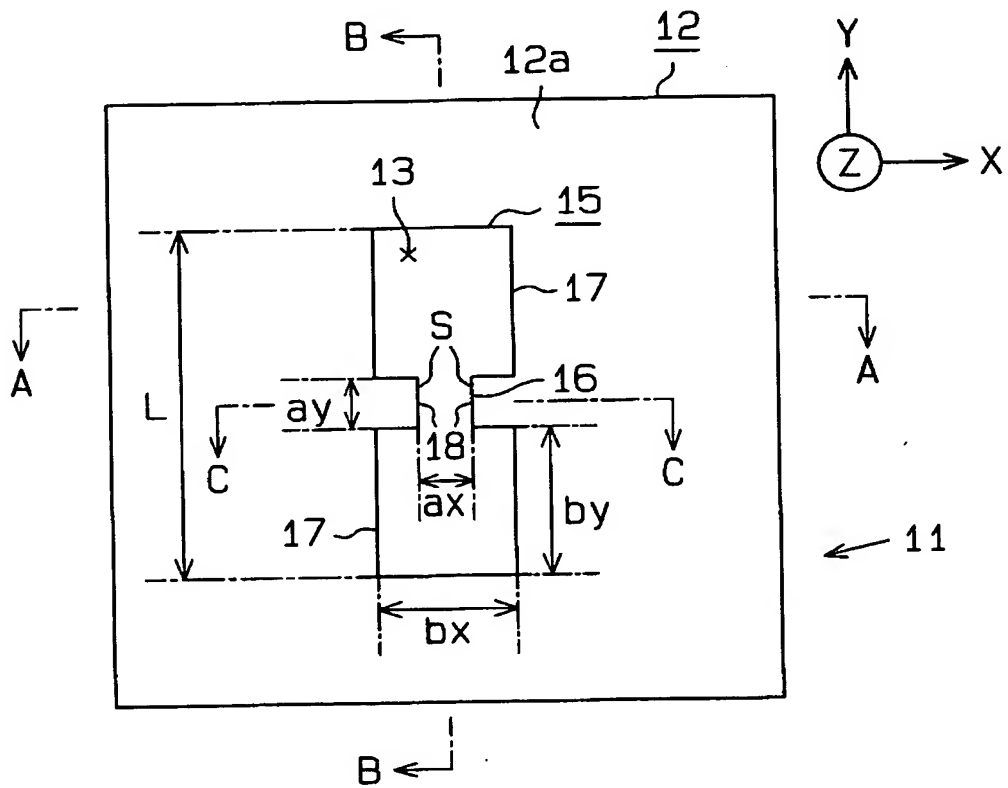
1 1 …光導波装置、1 3 …光導波路、1 5 …微小開口、1 6 …幅狭部、1 7 …幅広部、1 8 …幅狭部において幅方向で対向する内面部分、a x …幅狭部の幅寸法、b x …幅広部の幅寸法、L …光導波路の形状寸法。

【書類名】 図面

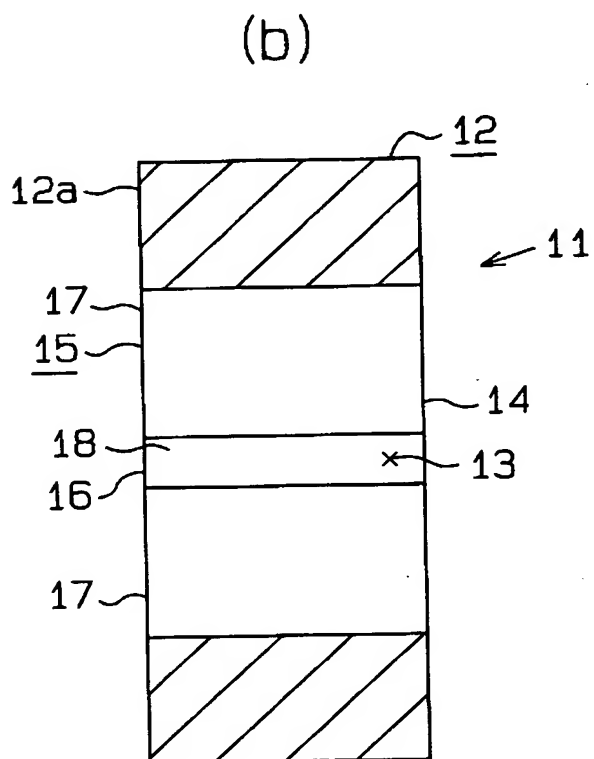
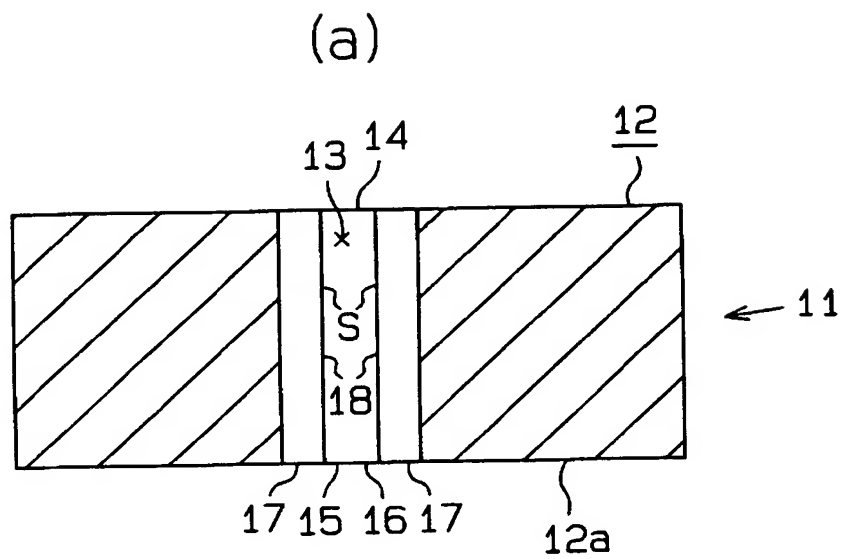
【図 1】



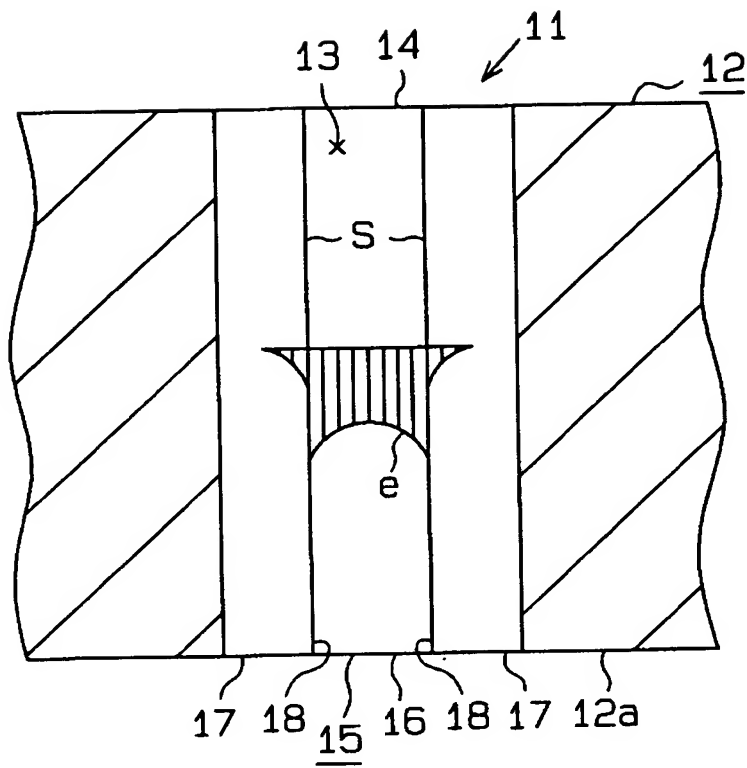
【図 2】



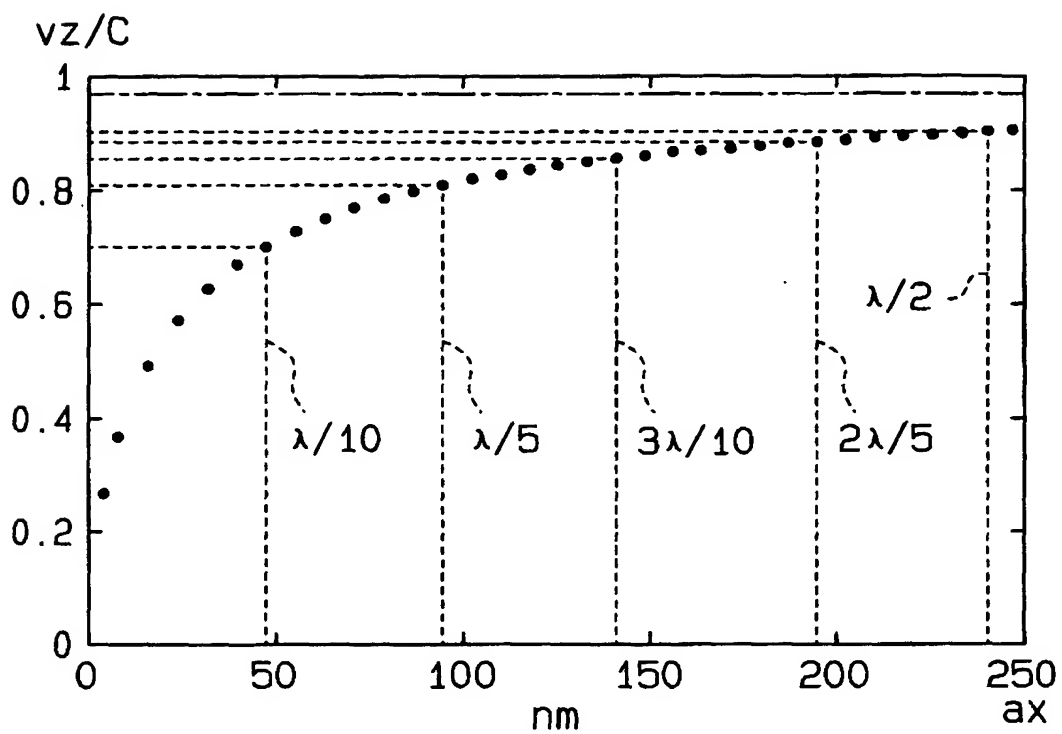
【図 3】



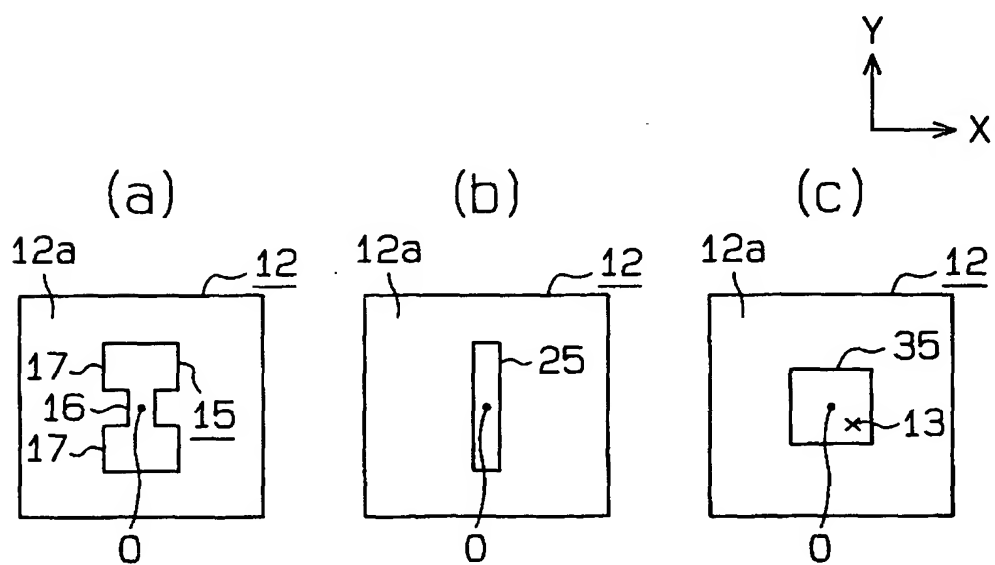
【図 4】



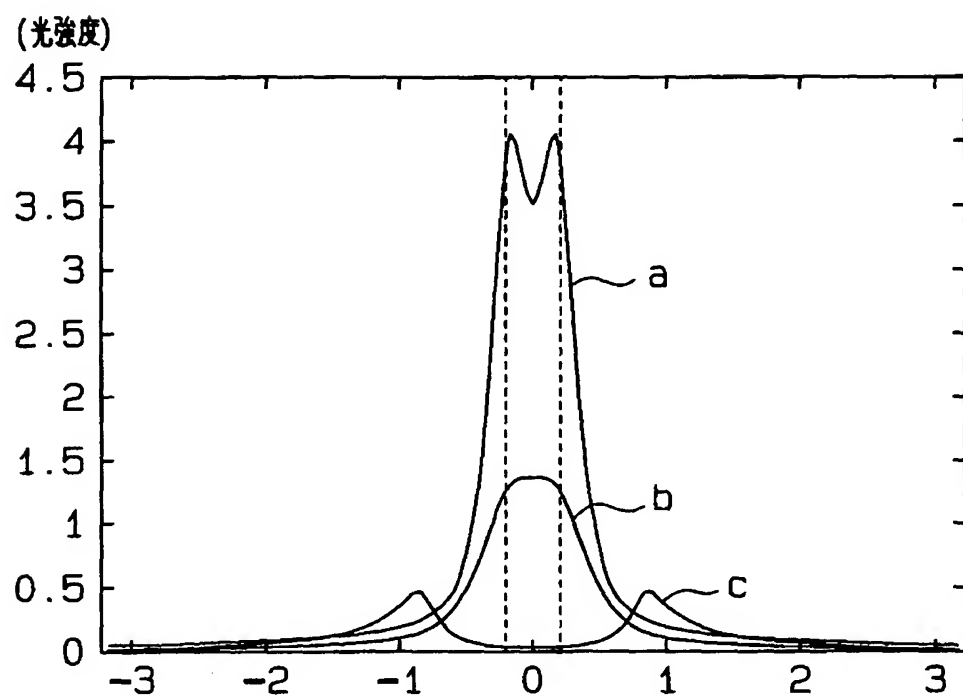
【図5】



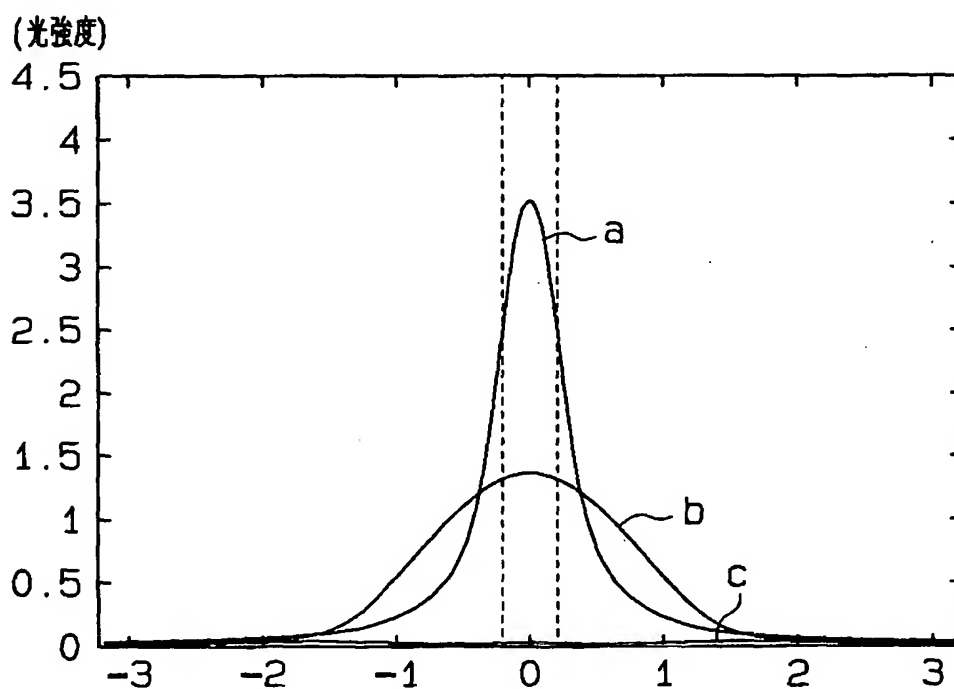
【図6】



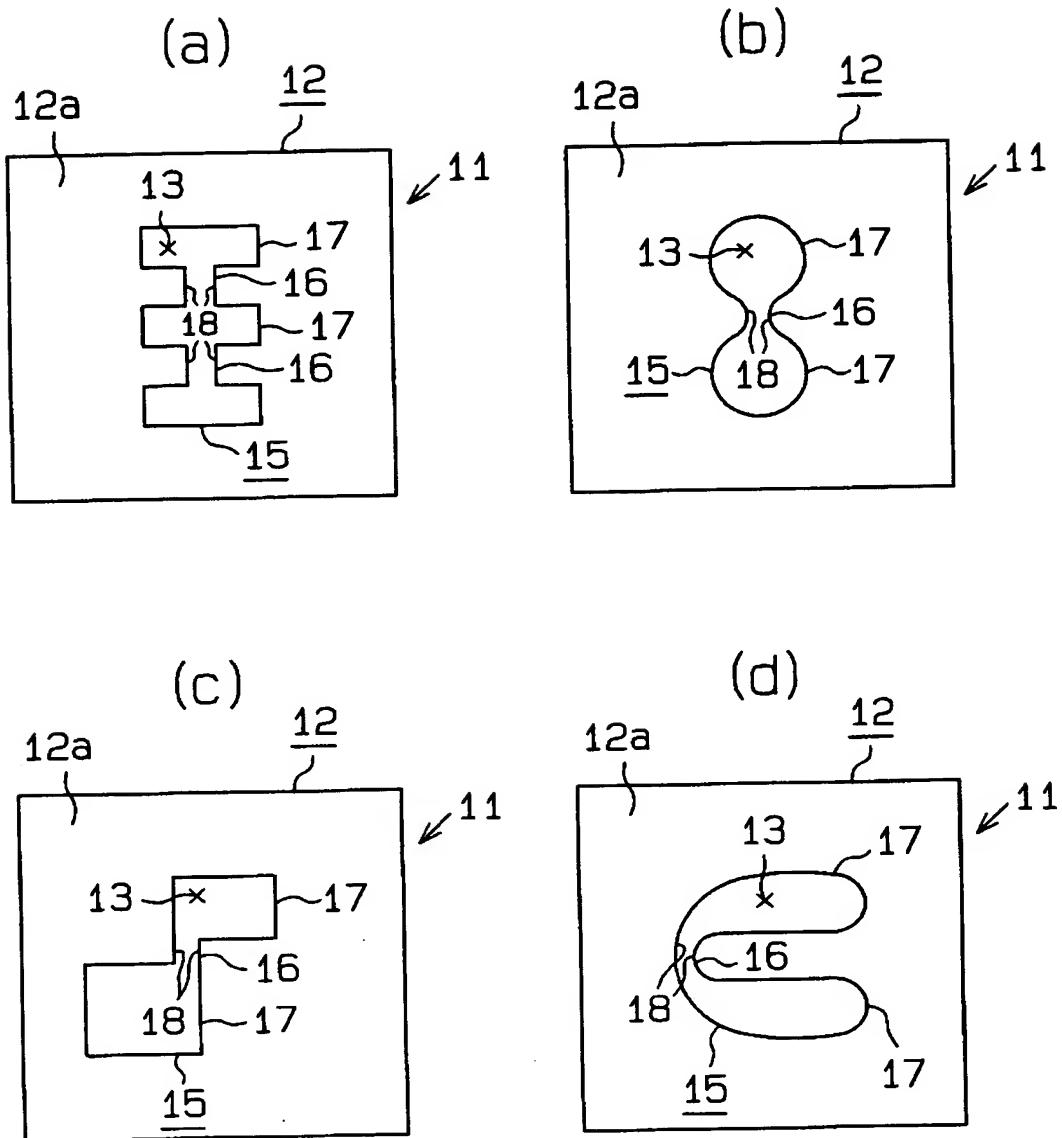
【図 7】



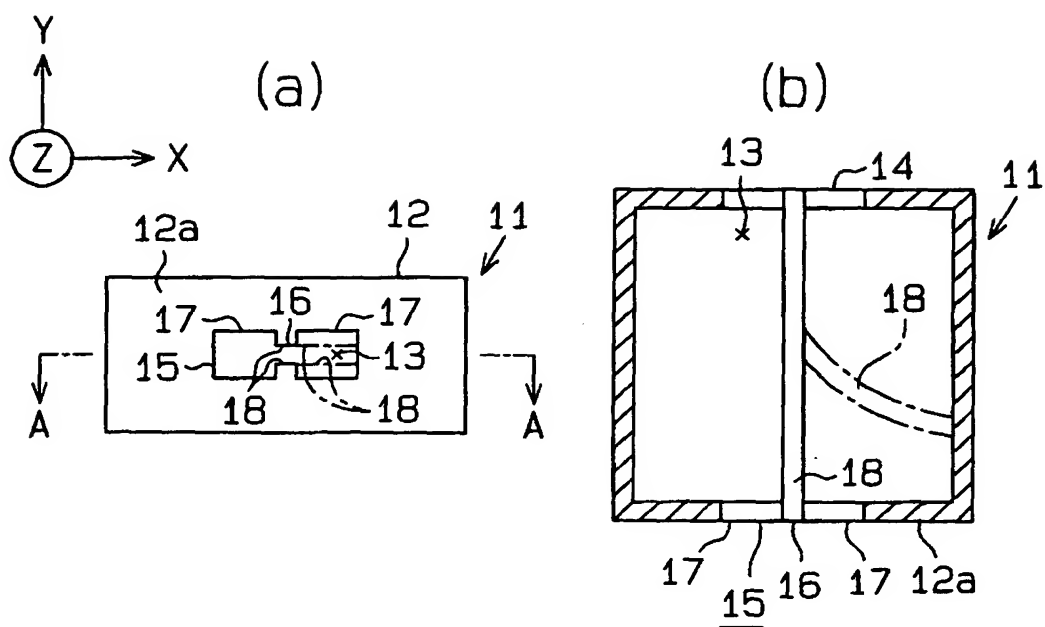
【図 8】



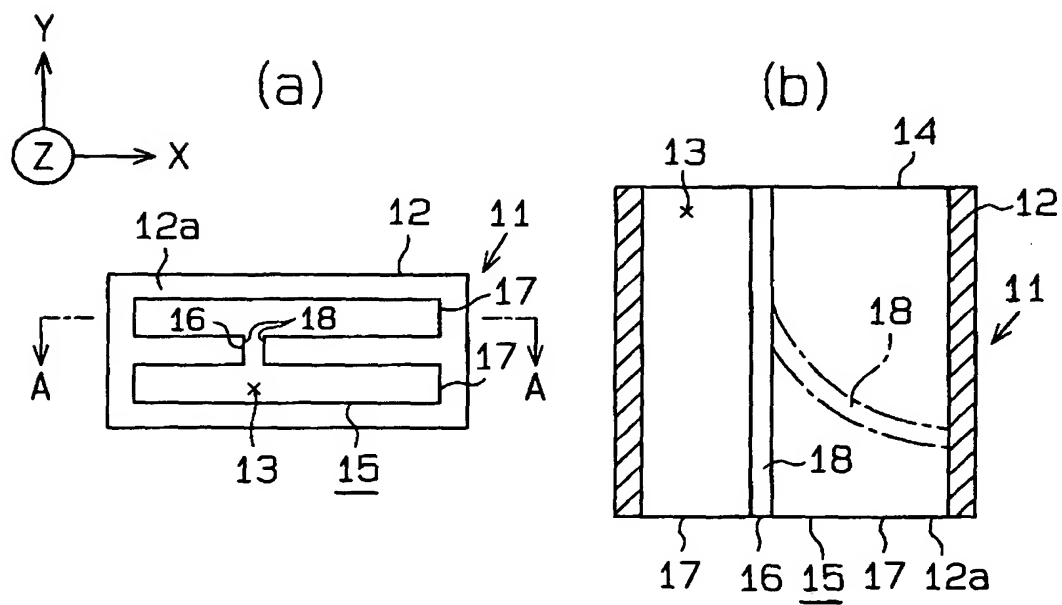
【図 9】



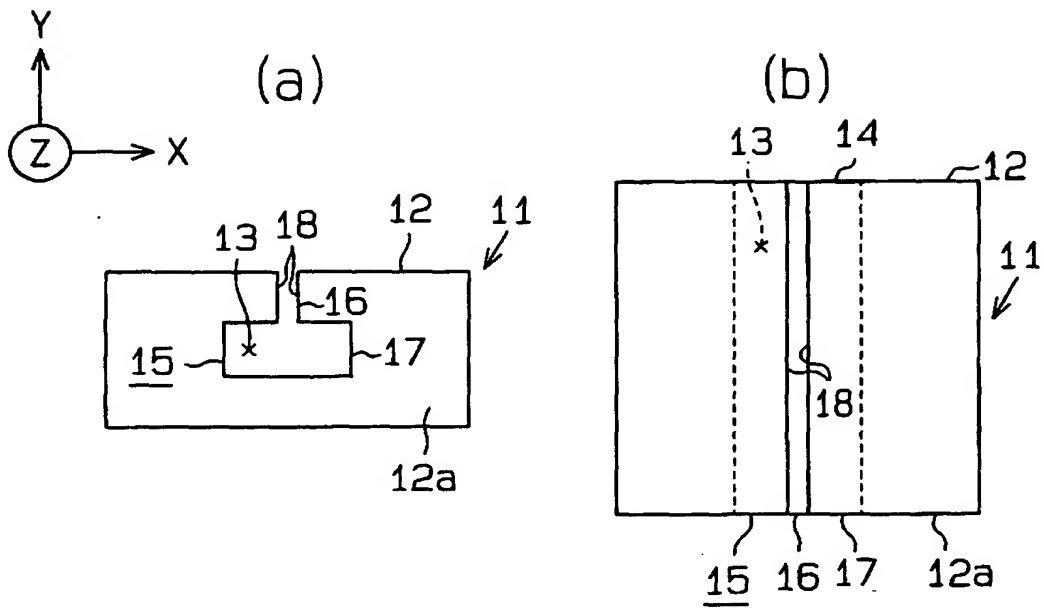
【図10】



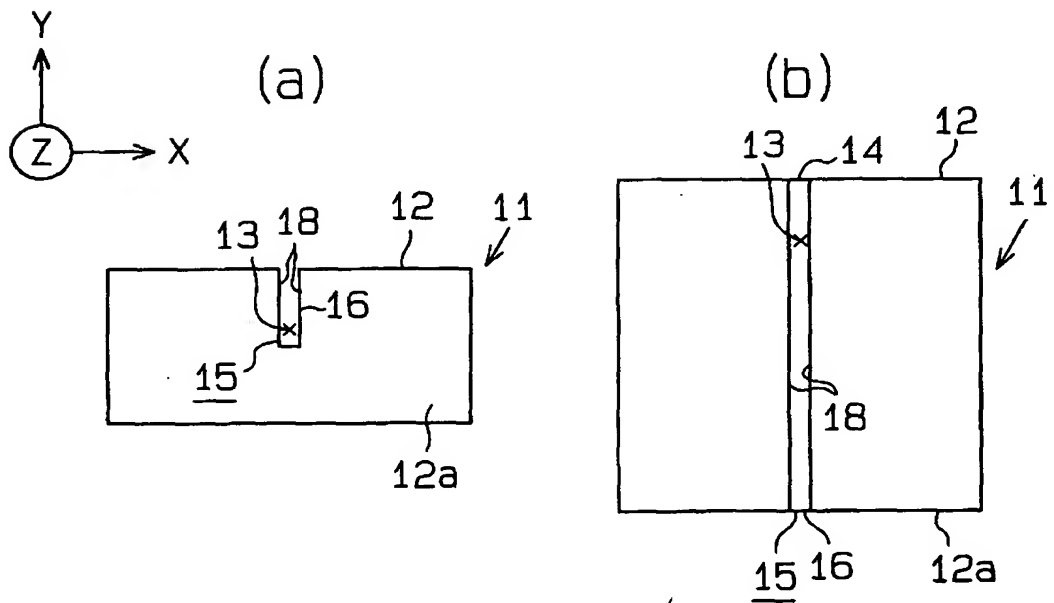
【図11】



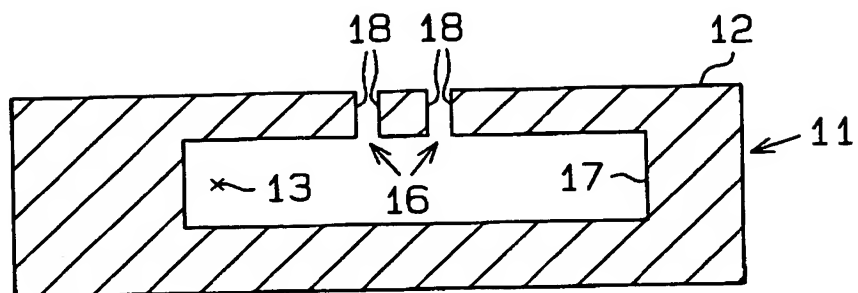
【図 1 2】



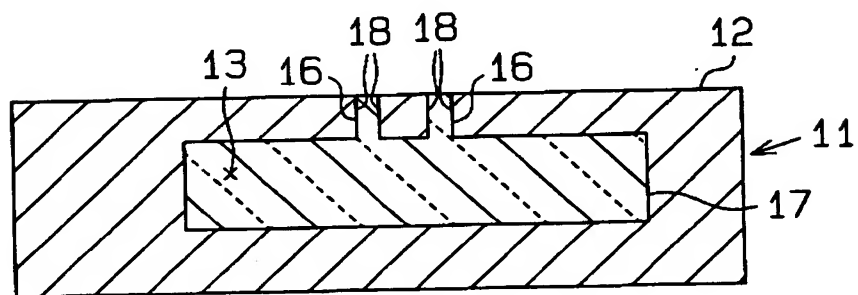
【図 1 3】



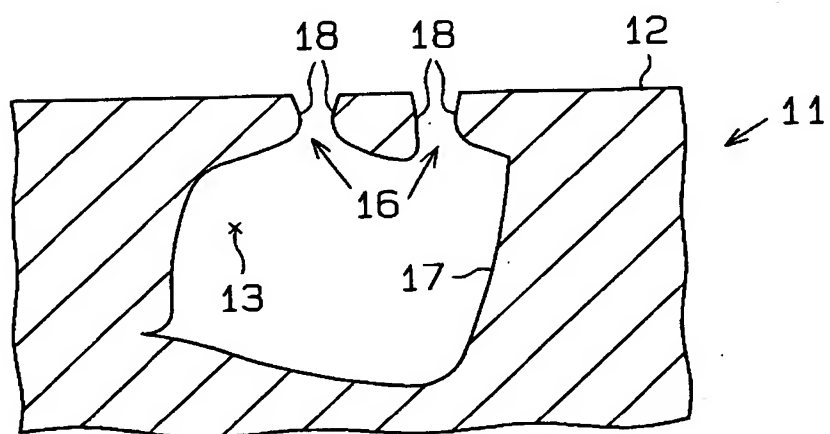
【図14】



【図15】



【図16】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】光導波路を介して伝搬される光の光強度を、その光の広がりが増大を招くことなく、低コストで増強することができる光導波装置を提供する。

【解決手段】光導波装置 1 1 は、比誘電率の実数部が負の値となる負誘電体媒質からなる金属製板体 1 2 の厚さ方向へ光導波路 1 3 が貫通形成されている。光導波路 1 3 の先端側開口は、伝搬される光の偏光方向を幅方向とした場合に、当該幅方向の内面幅寸法が伝搬光の波長の $1/2$ よりも小さな値の幅狭部 1 6 と当該幅狭部 1 6 よりも内面幅寸法が大きい幅広部 1 7 とが前記幅方向と交差する方向へ連続して繋がった形状の微小開口 1 5 とされている。従って、光導波路 1 3 内を光が伝搬される際には、前記幅狭部 1 6 の幅方向で対向する両内面部分 1 8 で発生した表面プラズモンが結合し、電界強度を上げると共に、その位相速度を遅くし、その結果、幅狭部 1 6 に前記伝搬光を集束する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[391012257]

1. 変更年月日	1991年 1月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	岐阜県岐阜市柳戸1番1
氏 名	岐阜大学長